

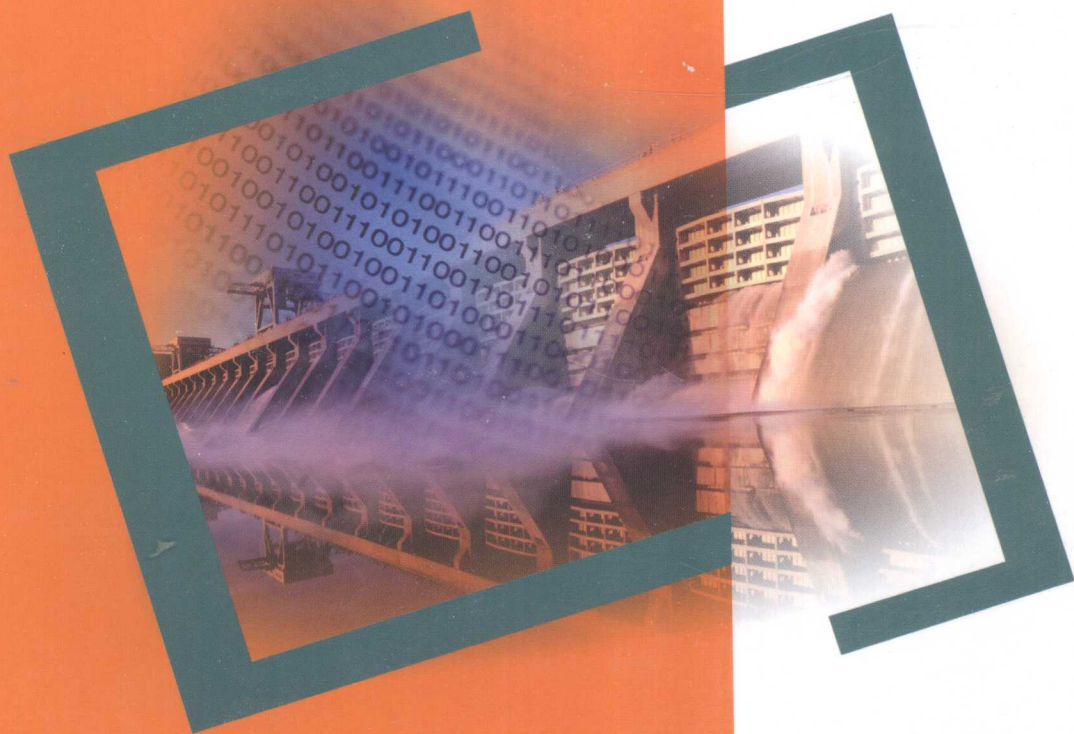
21世纪成人高等教育特色专业教材

水利计算

COMPUTATION

OF WATER CONSERVANCY

■ 鲁子林 主编



■ 河海大学出版社

TV214

8

21 世纪成人高等教育特色专业教材

水利计算

鲁子林 主 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

河海大学出版社

Y15V1
8

ISBN 7-5630-0072-0 水利计算 鲁子林主编

图书在版编目(CIP)数据

水利计算 / 鲁子林主编. —2 版. —南京:
河海大学出版社, 2003. 5

ISBN 7-5630-0072-0

I. 水... II. 鲁... III. 水利计算
IV. TV214

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 041689 号

主 编 鲁子林

书 名 / 水利计算

书 号 / ISBN 7-5630-0072-0/TV·10

责任编辑 / 魏 连

封面设计 / 张世立

出 版 / 河海大学出版社

地 址 / 南京市西康路 1 号(邮编:210098)

电 话 / (025)3737852(总编室) (025)3722833(发行部)

经 销 / 江苏省新华书店

印 刷 / 武进市第三印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16 13.5 印张 305 千字

版 次 / 2003 年 7 月第 2 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

印 数 / 1~3 000 册

定 价 / 20.00 元(册)

江苏大学出版社

前言

本教材是按照水文水资源专业函授教学计划,在1989年第一版的基础上修订而成的。

新版教材保留了第一版的结构体系,全书共分五章,内容包括:径流调节计算、灌溉计算、水能计算、防洪计算及水利经济计算等。为帮助学员巩固所学知识,每章后都有小结,并配备一定数量的复习思考题。教材最后附有习题。

本书在编写过程中充分考虑了成人教育以自学为主的特点,对教材中的难点,都尽可能作了详细的说明,并辅以大量例题帮助读者加深理解。本书不仅可作为水文水资源以及相近专业的函授教材,而且可作为广大在职职工自学与培训用书,也可供水利工程技术人员和相近专业师生工作时参考。

本书第一版由鲁子林教授编写,叶秉如教授和程文辉教授审稿。

再版修订工作由钟平安副教授完成,修订过程中对原书部分陈旧内容作了适当的删节和更新;对部分难点内容的表述作了重新调整,以更便于自学;对引用的基本数据和规程规范等作了更新。

本书自1989年首版以来,历经十几年的教学实践,在使用过程中,各函授辅导站教师和历届学员对教材提供过许多好的意见与建议,借再版之际,谨致谢意。

本书的修订再版得到了河海大学成人教育学院的大力支持,河海大学出版社魏连先生为之倾注大量的心血,使得新版教材的质量得到很大提高,在此,一并表示感谢。

对于本书中的错误与欠妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2003年5月

目录

◆ 前言	1
◆ 绪 论	1
◆ 第 1 章 径流调节计算	3
1.1 关于径流调节的一些概念	3
1.2 年调节水库径流调节计算方法	8
1.3 年调节水库保证供水量与设计库容之间的关系	21
1.4 时历法多年调节计算	24
1.5 数理统计(机率理论)在径流调节中的应用	28
1.6 数理统计法多年调节计算	33
1.7 水库水量损失	46
小结	50
复习思考题	52
◆ 第 2 章 灌溉计算	54
2.1 灌溉水源与取水方式	54
2.2 作物田间需水量计算	61
2.3 灌区综合灌溉用水过程计算	67
2.4 引水灌溉工程水利计算	75
2.5 蓄水灌溉工程水利计算	78
2.6 提水灌溉工程水利计算	82
2.7 地下水灌溉水利计算	87
小结	93
复习思考题	93

◆ 第3章 水能计算

3.1 水能利用的基本概念	95
3.2 电力系统的负荷及其容量组成	101
3.3 水电站的保证出力和多年平均年发电量	105
3.4 水电站装机容量选择	112
3.5 正常蓄水位与死水位选择	121
3.6 水电站水库调度图	125
小结	128
复习思考题	129

◆ 第4章 防洪计算

4.1 防洪措施与防洪标准	131
4.2 水库防洪水利计算	136
4.3 水库防洪计算有关问题	146
4.4 堤防防洪水利计算	150
4.5 分(蓄)洪工程水利计算	164
小结	166
复习思考题	167

◆ 第5章 水利经济计算

5.1 投入与产出	168
5.2 资金的时间价值及基本折算公式	170
5.3 水利工程方案比较方法	176
5.4 水利经济计算例题	180
5.5 财务分析与敏感性分析	187
小结	190
复习思考题	190

◆ 习 题

习题一 列表法年调节计算	200
习题二 求年调节水库兴利库容	201
习题三 差积曲线法年调节计算	202
习题四 水库多年调节计算	203
习题五 灌溉计算	203
习题六 水能计算	204
习题七 水库调洪演算	205
习题八 水利经济计算	206

◆ 参考文献

绪论

我国水资源总量丰富，人均占有量却不足。随着人口的不断增长，工农业生产的发展，人民生活水平的提高，人类对水资源的需求在不断增长。据估算，全球陆地降水总量约 119 万亿 m^3 ，年径流总量约 47 万亿 m^3 。我国年径流总量 2.71 万亿 m^3 ，相当于全球陆地径流总量的 5.6%，少于巴西（5.19 万亿 m^3 ）、前苏联（4.71 万亿 m^3 ）、加拿大（3.12 万亿 m^3 ）、美国（2.97 万亿 m^3 ）和印尼（2.81 万亿 m^3 ），占世界第六位。但按人口平均我国每人仅有 2 200 m^3 ，只有加拿大的 1/58、巴西的 1/19、印尼的 1/8、前苏联的 1/8、美国的 1/6 和日本的 1/2，不足世界人均的 1/4。美国 1975 年实际人均用水量已接近 2 700 $\text{m}^3/\text{人}$ 。从这方面考虑，我国并不是水资源丰富的国家，所以应当重视和珍惜水资源的开发和利用。

人类对水资源的控制利用，主要目的在于兴利和除害两个方面。

兴利方面大体可归纳为以下几类：① 灌溉用水（包括林、牧业用水）。目前，我国农业用水是最主要的用水部门，占总用水量 80% 以上。② 工业生产用水和城镇居民生活用水。随着工业建设和城镇人口的增长，城市对水的需求量日益加大，许多地方供水已成为影响国民经济发展和人民生活正常需要的一个突出问题。③ 水力发电。水电站的动力原料——水能，是由自然界水文循环而产生的取之不尽的再生能源。水电站一旦建成，便可不断地为国民经济建设提供宝贵的电能。我国是世界上水能资源最丰富的国家，目前已开发利用的水能资源还不到可开发量的 30%。④ 水产养殖。为了保证鱼类和其他生物的生存繁衍，要求湖泊、水库等水域维持一定水量。⑤ 水源环境保护、防止水域污染、维持生态平衡。这些方面也需一定数量的水资源。⑥ 风景区的建设和旅游事业的发展。这方面对水的要求也日趋迫切。⑦ 水运与航空和陆运相比，船筏是最廉价的客货运输工具。现在我国水域利用还很不充分，水运事业发展前景颇为广阔。

除害方面大体可归纳为：① 洪水灾害。我国是一个多洪灾的国家。根据历史记载，自公元前 2278 年至 1946 年的 4 224 年间，黄河曾改道 26 次，决口 1 593 次，平均每五年决口两次。长江自公元前 185 年至 1949 年的 2 134 年间，发生水灾 220 多次，平均约 10 年一次。近几十年中，1963 年海河大水，1975 年河南特大暴雨造成板桥、石漫滩水库垮坝，1981 年四川发生大洪水，1985 年东北辽河大水，1998 年长江与嫩江流域

除害方面大体可归纳为：① 洪水灾害。我国是一个多洪灾的国家。根据历史记载，自公元前 2278 年至 1946 年的 4 224 年间，黄河曾改道 26 次，决口 1 593 次，平均每五年决口两次。长江自公元前 185 年至 1949 年的 2 134 年间，发生水灾 220 多次，平均约 10 年一次。近几十年中，1963 年海河大水，1975 年河南特大暴雨造成板桥、石漫滩水库垮坝，1981 年四川发生大洪水，1985 年东北辽河大水，1998 年长江与嫩江流域

大水,损失都很严重。由于我国幅员辽阔,即使一般年份,就全国来说,洪灾也在所难免,只是发生的地区、范围和严重程度不同而已。不仅我国如此,当今世界上许多国家都存在与洪水斗争的问题。② 涝灾。沿江、滨湖洼地及圩区等平原地区,地势低洼,地面坡度平坦,排水不畅,或受大江大河洪水顶托,河道排水能力有限,不能及时将暴雨径流外排,往往容易形成涝灾。③ 凌灾。我国北方气温较低,河流容易结冰,在初冬或春季漂浮的流冰壅塞在河湾、浅滩或河道狭窄处,堵塞水流,形成冰坝,也会泛滥成灾。④ 盐碱和渍害。北方现有盐碱地 267 万多 hm^2 ,南方有渍害田 400 万 hm^2 ,这些低产田严重影响农业生产。要提高低产田的单位面积产量,需要有计划地改良盐碱地,治理渍害田。⑤ 水污染。现在,我国水源污染情况相当严重,全国工业废水和生活污水排放量每天高达 9 370 万 t,其中约有 80% 未经处理,主要江河约有 1/3 的水量污染程度已超过卫生标准,5% 的水域中鱼虾已经绝迹,水污染已对人民健康和生产建设造成损害。开发水利必须十分重视生态环境的保护与改善,必须保护水源、防治污染。

水利计算的任务是根据国民经济建设的需要,综合考虑上、下游和各部门的要求,全面规划,合理安排,研究流域水资源的规划、开发利用和综合治理,通过一定的工程措施调节自然径流,以达到兴利和减免灾害的目的。

具体讲,在规划设计阶段,要研究各种可能采取的措施,拟定适当的开发方案,并预测水利工程对水质变化、生态环境的影响和可能造成的后果,首先进行政治、经济、技术方面的可行性分析论证,然后进一步具体作投资、效益等经济比较,从而选择最佳综合治理措施、开发方式和建设程序。对于某项具体工程而言,水利计算的任务是通过技术经济比较,确定建筑物的建设规模和基本尺寸。例如:水库的坝高、库容及各特征水位;防洪建筑物的防护标准、泄洪设备的形式、设置高程和断面尺寸;灌溉工程的灌溉面积、引水渠的设计水位和过水断面、抽水机马力;水电站的保证出力、多年平均年电能、设计水头、装机容量;等等。

在运行管理阶段,水利计算的任务是编制全流域及各项水利工程的控制运用规程和合理调度方案。其目的在于,既要尽量保证水利工程和防护对象的安全,最大限度地减免洪涝灾害损失,又要尽量充分利用水量、水头,以获得最大可能的水利综合经济效益。

水利计算涉及面较广,内容甚为丰富。《水利计算》作为一门课程,只能按教学计划中规定的学时精选其中一些主要内容编写,不可能将各方面内容都包括进去。本教材按教学大纲要求分五章编写。五章内容之间的关系大致如下:第一章主要介绍径流调节的基本概念、调节原理和计算方法,它是第二章、第三章和第四章的基础。第二章至第四章为应用径流调节原理,分别研究灌溉、发电、防洪等水利计算问题。因为灌溉、水力发电和防洪三方面各自都有较多的内容,为便于教学,教材中将它们分为三个独立的部分编写。由于任何一项水利工程,在规划设计和运行管理时,都离不开经济分析,因而在教材中专门列了第五章,系统地介绍了水利经济计算的有关基本内容。

函授以自学为主。希望在自学每章时,注意掌握基本概念,理解基本原理和计算方法。每学完一部分内容可对照复习思考题,检验自己领会的程度。书中所附例题较多,学员应在认真阅读例题的基础上完成习题,并通过以上环节,逐步加深对课程内容的理解。

第 章

1

径流调节计算

1.1 关于径流调节的一些概念

1.1.1 径流调节的意义

由于自然资源在时间上和地区上变化复杂,很不均匀,往往不能满足经济建设和人民生活的要求,因而必须通过兴建水利工程,来调节天然径流,使其满足需要。这种人为改变自然资源的时、空分布的活动,通常称为径流调节。现具体说明如下。

我国受季风气候影响较大,降水量和径流量年内分配很不均匀,年径流量主要集中在汛期几个月内。华北、东北、西北和西南地区,6月至9月为汛期,四个月的雨量可占全年降水总量的70%~80%;南方各省汛期较早,其雨量约占全年降水量的50%~60%。由此可知,一年之内各月径流量往往相差很大。例如浙江省乌溪江湖南镇站1968年6月份径流量为11月份径流量的66.8倍。1969年7月份径流量为12月份径流量的25.6倍。

我国降水量和径流量的年际变化也很大。例如北京降水量1959年(1406 mm)是1891年(168.5 mm)的8.34倍。淮河蚌埠站年径流1921年(719亿 m^3)是1978年(26.9亿 m^3)的26.7倍。如以洪峰流量与枯水流量相比,或从短历时暴雨量看,则变化更为悬殊。例如黄河三门峡建库前最小流量小于 $200\text{ m}^3/\text{s}$,而最大实测洪峰流量可达 $23500\text{ m}^3/\text{s}$,相差达120倍。1960年7月内蒙商都一次暴雨,历时4 h,降水量600 mm,等于当地常年全年降水量的1.5倍;又如1977年8月内蒙乌审旗的一次暴雨,约10 h,降水量达1400 mm,等于当地常年全年降水量的3.5倍。

此外,从实际资料看,我国主要江河都出现过连续枯水年和连续丰水年。突出的是松花江和黄河,例如,松花江哈尔滨站,出现过连续11年(1898年~1908年)和连续13年(1916年~1928年)的枯水期,13年枯水期平均年径流量比正常年份减小达40%。哈尔滨站也出现过连续7年(1960年~1966年)的丰水期,平均年径流量比正常年份多32%,并且在1956年、1957年连续发生了该站自1898年有记录以来最大的两次洪水;黄河陕县站出现过连续11年(1922年~1932年)的枯水期,其平均年径流量比正常年份减少

24%；淮河以南各河持续时间短些，但长江、闽江、珠江也都出现过连续六七年的少水期。

雨量过分集中，河川径流在时间上分布不均匀，往往难以满足各用水部门的需要，使总水量不能充分利用。因为大多数用水部门（例如灌溉、发电、航运……等）都要求对于拟定供水时间有比较固定的用水量。这与天然径流过程常不能吻合。例如，我国很多流域在水稻插秧期需水较多，而这时河川径流量却往往很少。冬季发电水量较多，而一般河流都处于枯水期。因此要充分利用河川径流，更好地发挥它在国民经济建设中的作用，就需要兴建水利工程，人为地将天然径流在时间方面重新进行分配，以满足各水利部门对水量的需要。另一方面，从防灾的角度考虑，由于河川径流年内极大部分水量往往集中于汛期几个月流过，而河槽宣泄能力有限，常造成洪水泛滥。为了减轻洪涝灾害，也需要对河川径流进行控制和调节。

径流调节概括地说是借建造水利工程——闸坝和水库，来控制 and 重新分配河川径流的变化，人为地增加或减少某一时期的流量，来适应各用水部门的需要。更简洁地说，就是通过兴建蓄水和调节工程，调蓄和改变径流的天然状态，解决供与需的矛盾，达到兴利除害的目的。

上述这种控制和调节径流的措施，是改造河流、发展水利的重要途径，它常常与河道本身的控制、改造（如集中落差、整治河床、引河开渠等）结合进行。

径流调节除进行上述时间上的径流再分配外，也包括地区之间的调节。我国地面水资源分布情况如表 1-1 所示。

表 1-1 我国地面水资源地区分布情况^①

流域或地区	地面水资源 (亿 m ³)	耕地 (万 hm ²)	人口 (亿人)	hm ² 均水量 (km ³ /hm ²)	人均水量 (km ³ /人)	hm ² 均水量 与全国比	人均水量 与全国比
全 国	26 380	10 040 ^②	9.88	26.3	2.67	1.00	1.00
珠 江	3 466	520	66.6	66.6	4.68	2.54	1.75
浙 闽	2 024	313.3	0.63	64.7	3.21	2.46	1.20
长 江	9 600	2 466.7	3.46	39.0	2.78	1.49	1.04
淮 河	644	1 253.3	1.25	5.1	0.52	0.19	0.19
黄 河	686	1 306.7	0.82	5.3	0.84	0.20	0.31
海 滦 河	276	1 133.3	0.98	2.4	0.28	0.09	0.10
辽 河	145	460	0.28	3.2	0.52	0.12	0.19
松 花 江	777	1 166.7	0.47	6.6	1.65	0.25	0.62
其他水系	8 762	1 420	1.25	62.7	7.13	2.39	2.67

长江流域及其以南地区的耕地占全国耕地面积的 38%，而河川径流量占全国 83%，黄、淮、海、辽四河流域内耕地面积占全国 42%，但河川年径流量只占全国 8%。

从表 1-1 中人均和每 hm² 占有的水资源量，也可看出各地相差非常悬殊。

由于在自然状况下水资源在地区分布上也有不平衡性，它与国民经济的需要往往不相适应。例如就大范围说，我国华北和西北地区雨量较少，而耕地较多；长江以南地区水量丰沛，而耕地面积相对较少；西南边疆水资源相当丰富，但人口和耕地都很少，需

① 中国水利试刊，1981(1)。

② 卫星资料大于此数。

水量不大。全国水土资源很不平衡。全国 600 多个城市中有 300 多个城市缺水,114 个城市严重缺水,其中北方地区和沿海城市尤为突出,农村仍有几千万人饮用水问题尚未解决。有些地方水源不足已成为影响人民生活和生产建设的严重问题。因此除在时间上进行径流调节外,还需要在地区上进行径流调节。如引江济黄、引松济辽、引滦入津和将要修建的宏伟工程南水北调等。

我国是世界上水力资源最丰富的国家。全国水能蕴藏量 6.76 亿 kW,但地区分布不均匀,位于人烟稀少的雅鲁藏布江与西南其他国际河流占全国水能蕴藏量的 37%。长江、黄河的水力资源,也主要位于我国西部和西南部山区的上游河段。人口稠密、经济发达的东部地区水力资源相当贫乏。淮河、海河、辽河三条河合计,水能蕴藏量尚不到全国总量的 0.7%。水能资源的地区性调节,一般需将水能先变为电能,然后通过电网调配(如西电东送)。

广义的径流调节还可以包括在整个流域面上,人类对地面及地下径流自然过程的一切有意识的干涉。例如流域上众多的群众性水利工程的蓄水、拦水、引水措施,各种农林措施和水土保持工程等等,其目的都在于拦蓄地表径流,增加流域入渗,以防止水土流失,有利于防洪和兴利。这种广义的径流调节情况多样,需要大量调查对比资料和特定的综合估算方法。一般可把它归为水文分析中人类活动对径流影响的估算问题。

本章主要阐述以水库为中心的狭义的径流调节计算。

1.1.2 径流调节的分类

建造水库调节河川径流,是解决来水与需水之间矛盾的一种常用的、积极的方法。根据不同的自然条件和要求,径流调节有各种分类。

(1) 按调节的对象和重点分。有洪水调节和枯水调节。前者重点在于削减洪峰和调蓄洪量,后者则是为了增加枯水期的供水量,以满足各用水部门的要求。

(2) 按服务目标分。径流调节可分为灌溉、发电、给水、航运及防洪除涝等。它们在调节要求和特点上各有不同。但目前水库已较少为单目标开发,一般都是以一二个目标为主进行综合利用径流调节。

(3) 按调节周期(即一次蓄泄循环的时间)分。有日调节、周调节、年(季)调节和多年调节。

日或周的短期调节,通常用于发电、给水库。河川径流在一天或一周内的变化一般是不大的,而用电负荷和人民生活用水在白天和夜晚,或工作日和休息日之间,差异甚大。有了水库,就可把夜间或休息日用水少时的多余水量,蓄存起来用以增加白天和工作日用水增长时的正常供水。这种调节称日调节和周调节。

我国一般河川径流季节变化很大。洪水期和枯水期水量相差悬殊,而多数用水部门如发电、航运、给水等,则一年内需水量变化不大。因此往往感到枯水期水量不足,洪水期过剩。灌溉需水也有此种矛盾。这就要求在一年范围内进行天然径流的重分配,称为年调节或季调节,其调节期为一年。

如果水库很大可将丰水年多余的水量蓄入库内,以补枯水年水量的不足,就称为多年调节。这种水库的有效库容一般并非年年蓄满或放空,它的调节周期要经过若干年。在特定的位置上,水库库容愈大,其调节径流的周期(即蓄满—放空—蓄满的

循环时间)就愈长,调节和利用径流的程度也愈高。多年调节水库一般可同时进行年、周和日的调节。年调节水库可同时进行周和日的调节。

(4) 其他形式的调节。尚有如补偿调节、反调节、库群调节等。当水库与下游用水部门的取水口间、有区间入流时,因区间来水不能控制,故水库调度要视区间来水多少,进行补偿调节;日调节的水电站下游,若有灌溉取水或航运要求时,往往需要对水电站的放水过程进行一次再调节,以适应灌溉或航运的需要,称为反调节;库群调节则是河流上有多个水库时,如何研究它们的联合运行,以最有效地满足各用水部门的要求,显然这是更复杂的径流调节,也是开发和治理河流的发展方向。

1.1.3 水库的特征水位和相应库容

要调节径流必须修建蓄水工程,水库是最常见的蓄水工程之一。在水库规划设计中水利计算的任务,就是要根据河流的水文条件和各用水部门的需求及保证率,通过调节计算和经济论证,来确定水库的各特征水位及相应库容。它们是确定主要水工建筑物的尺寸(如坝高和溢洪道大小),估算工程效益(如防洪、灌溉、发电、航运、供水等)的基本依据。现将水库特征水位和相应库容说明如下:

(一) 死水位和死库容

死水位是指在正常运用情况下,允许水库消落的最低水位。死水位以下的库容称为死库容或垫底库容。死库容在一般情况下是不能动用的,除非特殊干旱年份,为了保证紧要的供水或发电,经慎重研究,才允许临时动用死库容内的部分存水。

确定死水位所应考虑的主要因素是:

- (1) 保证水库在使用年限内有足够的供泥沙淤积的库容;
- (2) 保证水电站所需要的最低水头和自流灌溉必要的引水高程;
- (3) 满足库区航深和渔业的要求;
- (4) 满足旅游、水质方面的要求。

(二) 正常蓄水位和有效库容

在正常条件下,为了满足兴利部门枯水期的正常用水,水库在供水期开始应蓄到的水位,称为正常蓄水位,又称正常高水位或设计蓄水位。它是供水期可长期维持的最高水位。正常蓄水位到死水位之间的这部分库容,是水库实际可用于调节径流的库容,称为调蓄库容,又称有效库容或兴利库容(见图 1-1)。正常蓄水位与死水位之间的深度称为工作深度或消落深度。

正常蓄水位,是设计水库时需确定的重要参数,它直接关系到一些主要水工建筑物的尺寸、投资、淹没、人口迁移及政治、社会、环境影响等许多方面,因此,需要经过充分的技术经济论证,全面考虑,综合分析确定。

(三) 防洪高水位、设计洪水位和校核洪水位

兴建水库后,为了汛期安全泄洪,要求有一部分库容作为削减洪峰之用,称为防洪库容或调洪库容。对于一年中可能会出现多次洪水的河流,这部分库容在汛期应当经常留空。为了降低坝高(目的是降低造价),同时在汛期又留有足够的防洪库容,汛期常要求水库蓄水不超过某一限制水位,该水位称为水库的防洪限制水位(俗称汛限水位)。当出现的洪水较大,入库流量超过溢洪道泄洪能力或防洪调度规则允许的水库下泄流

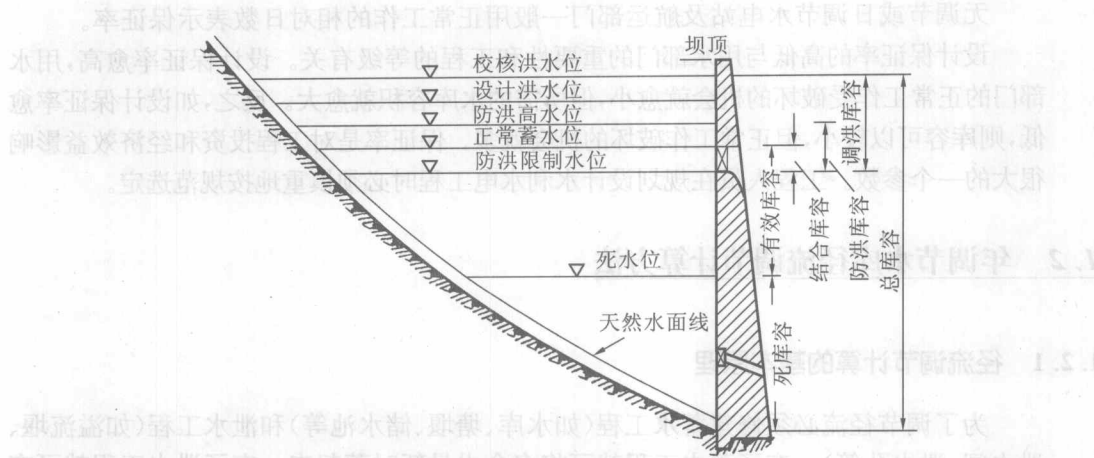


图 1-1 水库特征水位和相应库容示意图

量时,超过的部分必须储蓄在水库内,致使库水位被迫抬高,欲维持防洪限制水位已不可能。洪水越大水位抬高越多。当遇到下游防护对象的设计标准洪水时,水库坝前达到的最高水位,称为防洪高水位。当遇到大坝设计标准洪水时,水库坝前达到的最高水位,称为设计洪水位。当遇到大坝校核洪水时,水库坝前达到的最高水位,称为校核洪水位。

校核洪水位以下的水库全部库容,称为总库容。校核洪水位至防洪限制水位之间的水库容积,称为调洪库容。防洪高水位至防洪限制水位之间的水库容积,称为防洪库容。正常蓄水位至防洪限制水位之间的库容,既可用以兴利又可用以防洪,因此称为结合库容。

校核洪水位加上一定的风浪高和安全超高,就是坝顶高程。水库各种特征水位及其相应库容,如图 1-1 所示。

1.1.4 设计保证率的概念

由于河川径流的多变性,如果要求在很少出现的特殊枯水年也保证正常供水,势必需修建很大的水库,这样就不得不耗费大量的人力、物力和财力,显然是不经济和不合理的;修建较小的水库耗资较少,但许多年份不能保证用水部门正常供水或不能充分利用水利资源,也会造成经济损失。因此需要研究另一指标,即水库在多年工作期间正常用水得到保证的程度,常用正常供水保证率来表示,或简称设计保证率(以 $P\%$ 表示)。

设计保证率有三种不同的衡量方法,即按保证供水的数量,按保证供水的历时,或按保证供水的年数来衡量。三者都是以多年工作期中的相对百分数表示。目前在水库的规划设计中最常用的是第三种衡量方法。例如灌溉水库、年调节以上的水电站、工业和民用供水等都用水库在多年工作期中能保证正常工作的相对年数表示,即

$$\begin{aligned} P(\%) &= \frac{\text{总年数} - \text{破坏年数}}{\text{总年数}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{正常工作年数}}{\text{总年数}} \times 100\% \end{aligned}$$

无调节或日调节水电站及航运部门一般用正常工作的相对日数表示保证率。

设计保证率的高低与用水部门的重要性和工程的等级有关。设计保证率愈高,用水部门的正常工作受破坏的机会就愈小,但所需的水库容积就愈大。反之,如设计保证率愈低,则库容可以较小,但正常工作破坏的机会就多。保证率是对工程投资和经济效益影响很大的一个参数。工程人员在规划设计水利水电工程时必须慎重地按规范选定。

1.2 年调节水库径流调节计算方法

1.2.1 径流调节计算的基本原理

为了调节径流必须修建蓄水工程(如水库、塘堰、储水池等)和泄水工程(如溢流堰、泄水闸、泄水孔等)。有了蓄水工程就可将多余水量暂时蓄起来。有了泄水工程就可有计划地改变闸门的开度控制和调节水库的出流。当天然来水超过出流时,水库蓄水量增加,库水位上升。反之,当来水小于出流时,水库蓄水量减少,库水位降低。

水库蓄水量变化过程的计算亦称为径流调节计算。它是把整个调节周期先划分为若干较小的计算时段,然后按时段进行水量平衡计算,其公式为:

$$\Delta V = (Q_{\text{入}} - Q_{\text{出}}) \Delta T \quad (1-1)$$

式中: ΔV —— ΔT 时段内水库蓄水量的变化(m^3);

$Q_{\text{入}}$ —— ΔT 时段内平均入库流量(m^3/s);

$Q_{\text{出}}$ —— ΔT 时段内平均出库流量(m^3/s);

ΔT ——计算时段(s)。

时段 ΔT 的长短,根据调节周期的长短及入流和需水变化情况而定。对于日调节水库, ΔT 可以小时为单位;年调节水库 ΔT 可加长,一般枯水季按月,洪水期按旬或更短的时段。选择时段过长会使计算所得的调节流量或调节库容产生较大的误差,且总是偏于不安全方面。选择时段越短,计算工作量越大。

水库水量平衡调节计算方法可分为两大类:时历法和数理统计法。

时历法是先根据实测流量过程进行调节计算,然后将各年调节后的水利要素值(例如流量、水位或库容等)绘制成频率曲线,也就是先调节计算后频率统计的方法。

数理统计法则先对原始流量系列进行数理统计分析,将其概化为几个统计特征值,然后再通过数学分析法或图解法进行调节计算,求得设计保证率与水利要素值之间的关系,也就是先频率统计后调节计算的方法。

1.2.2 年调节水库时历法

一般说来,径流调节计算的任务是:① 在已知天然来水的情况下,根据用水部门所要求的调节流量,求水库所需有效库容;② 根据已知来水过程和已定的水库有效库容,求水库可提供的调节流量。现以年调节水库为例将时历法的三种方法(列表法、简化水量平衡公式法和差积曲线法)分别介绍如下。

(一) 列表法

列表法调节计算能较严格、较细致地考虑需水和水量损失随时间的变化。它是一

一种最通用的方法。设用水部门需水量(即水库调节流量)为已知(见表1-2中3栏)。该年的入库流量列于表1-2中2栏。表中1栏为月份。在水利计算中一般不用日历年,而是采用水利年。即以水库蓄泄过程循环作为一年的起迄点,例如取水库开始蓄水作为一年的起点。本例系采用3月至次年2月作为水利年进行调节计算。水利年不一定每年正好12个月,调节计算时应根据实测流量资料确定。如取计算时段 ΔT 为一个月,由于一年内不同月份、天数不同,所以每个计算时段的实际秒数并不相同,在列表法调节计算时可以仔细地考虑这一点。但在实用上,为了简便起见, ΔT 一般采用常数,即取平均值 $\Delta T=30.4d=2\,626\,560\text{ s}$ 。当 ΔT 为固定常数时,在水利计算中常用流量·时间为单位来表示水量,例如: $(\text{m}^3/\text{s})\text{月}$ 或 $(\text{m}^3/\text{s})\text{日}$ 。 $1(\text{m}^3/\text{s})\text{日}=1\text{ m}^3/\text{s}\times 86\,400\text{ s}=86\,400\text{ m}^3$ 。同理 $1(\text{m}^3/\text{s})\text{月}=2\,626\,560\text{ m}^3$ 。采用这种单位可以大大简化调节计算。

表1-2中的4栏和5栏分别表示各月的余、亏水量(来水量与用水量的差值)。本例中9月份至次年2月份为亏水期,六个月总亏水量 $67.8(\text{m}^3/\text{s})\text{月}$,即1.78亿 m^3 。而3月到8月为余水期,六个月总余水量为 $194.3(\text{m}^3/\text{s})\text{月}$ 。余水期多余的水量远远超过亏水期所缺少的水量。也就是说为了保证全年各月 $20.0\text{ m}^3/\text{s}$ 的用水流量,水库在亏水期必需补充放水 $67.8(\text{m}^3/\text{s})\text{月}$,所以余水期只需要蓄 $67.8(\text{m}^3/\text{s})\text{月}$ 即可满足本年用水需要。此数据即为该年所需兴利库容,表示该年必须有这样大的库容,用以存蓄水量,否则本年亏水期六个月就不能正常供水 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 。

表 1-2 列表法年调节计算(一回运用)

1 月 份	2 来水流量 (m^3/s)	3 用水流量 (m^3/s)	4 余水量 [(m^3/s)月]	5 亏水量 [(m^3/s)月]	6 水库蓄水量 ^① [(m^3/s)月]	7 弃水量 [(m^3/s)月]	8 备 注
3	31.1	20.0	11.1		0		库 空 蓄水期 ↓
4	40.4	20.0	20.4		11.1		
5	68.2	20.0	48.2		31.5		
6	85.8	20.0	65.8		67.8		库满后 开始弃水
7	58.2	20.0	38.2		67.8	11.9	
8	30.6	20.0	10.6		67.8	65.8	
9	13.4	20.0		6.6	67.8	38.2	供水期 ↓
10	6.5	20.0		13.5	61.2	10.6	
11	3.2	20.0		16.8	47.7		
12	4.4	20.0		15.6	30.9		库 空
1	9.2	20.0		10.8	15.3		
2	15.5	20.0		4.5	4.5		
合 计	366.5	240.0	194.3	67.8	0	126.5	合

① 这里水库蓄水量系指有效蓄水量未包括死库容,表1-3、表1-4同。

显然,年来水量 $366.5(\text{m}^3/\text{s})$ 月,应等于该年用水量与弃水量之和 $240+126.5=366.5(\text{m}^3/\text{s})$ 月;该年余水量 $194.3(\text{m}^3/\text{s})$ 月,应等于亏水量与弃水量之和。这些可作列表计算的校核。

求得水库调节库容后,根据水库的运行方式可得出水库各月的蓄水量变化情况(表 1-2 中 6 栏)及水库弃水情况(表 1-2 中 7 栏)。

从表 1-2 中可以看出该年来水、用水、弃水及水库蓄水量变化情况。水库从该年 3 月初库空开始蓄水,到 5 月下旬水库蓄满。由于 5 月下旬及 6、7、8 三个月来水仍超过用水需要,因此多余的水量被迫放弃,水库保持满库状态。9 月份开始进入供水期,为了满足用水要求,水库蓄水量不断下降,一直到次年 2 月底放空,完成一次循环。

在水库调节计算中经常要涉及操作方式,下面为讨论方便起见,主要考虑两种极端情况,即早蓄方案和迟蓄方案或晚蓄方案。所谓早蓄方案,就是水库在蓄水期有余水就蓄,兴利库容蓄满后还有多余再弃水。早蓄方案一般采用顺时序计算。所谓迟蓄方案或晚蓄方案,就是水库在蓄水期末水库保证蓄满的前提下,有多余的水先弃后蓄,迟蓄方案或晚蓄方案采用逆时序计算较为便利。表 1-2 中采用早蓄方案。应当说明,这里研究的早蓄方案和迟蓄方案或晚蓄方案都是理论上的操作方式。介绍这两种方式,主要是为了有助于对径流调节计算的理解,而在水库实际运行时,一般并不按这两种极端方式操作。

上例比较简单,一年中只有一个余水期和一个亏水期,称为一回运用。由于来水和需水年内分配不同,一年内可能有若干个余水期和亏水期。例如表 1-3 中就有两个余

表 1-3 列表法年调节计算(多回运用)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
月 份	来水 (m^3/s)	用水 (m^3/s)	余水量 [(m^3/s)月]	亏水量 [(m^3/s)月]	(早蓄方案)		(迟蓄方案或晚蓄方案)	
					水库蓄水量 [(m^3/s)月]	弃水量 [(m^3/s)月]	水库蓄水量 [(m^3/s)月]	弃水量 [(m^3/s)月]
3	33.2	20.0	13.2		↓ 0		0	13.2
4	53.8	20.0	33.8		13.2		0	33.8
5	71.0	20.0	51.0		47.0	49.4	0	23.7
6	12.2	20.0		7.8	48.6		27.3	
7	15.0	20.0		5.0	40.8		19.5	
8	40.0	20.0	20.0		35.8	7.2	14.5	
9	34.1	20.0	14.1		48.6	14.1	34.5	
10	11.0	20.0		9.0	48.6		48.6	
11	8.1	20.0		11.9	39.6		39.6	
12	7.8	20.0		12.2	27.7		27.7	
1	4.5	20.0		15.5	15.5		15.5	
2	20.0	20.0		0	0		↑ 0	
合 计	310.7	240.0	132.1	61.4	0	70.7	0	70.7

水期、两个亏水期。该年6、7两个月亏水量为 $12.8(\text{m}^3/\text{s})$ 月。10月至次年1月亏水量为 $48.6(\text{m}^3/\text{s})$ 月。这种情况如何确定该年所需库容呢?主要看两个亏水期中间余水期的余水量是否大于前后两个亏水期的亏水量。现分两种情况说明如下:

(1) 如果余水量不同时小于两个亏水量,则所需调节库容为两个亏水量中的较大者,本例就属于这种情况,因此 V 是该年10月至次年1月亏水量,等于 $48.6(\text{m}^3/\text{s})$ 月。因该年6、7月份的亏水量可由8、9月份余水补充,故不需另设库容。表1-3中9月末为库满点,即9月末水库必须蓄水 $48.6(\text{m}^3/\text{s})$ 月,否则就不能保证该年10月至次年1月供水流量 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 。次年1月末为库空点,此时兴利蓄水恰好用完,2月不需水库供水。表1-3中6、7两栏系分析该年所需要库容后,采用早蓄方案,顺时序计算的水库蓄水过程和弃水过程。

(2) 如果中间余水期的余水量同时小于前后两个亏水期的亏水量,则库容为三者(两个亏水量和其中余水量)的代数和。具体数例见表1-4。从该表4、5两栏数字可以看出,该年9月和11、12月为亏水期,其中10月水量有余,因为10月的余水量大于9月的亏水量,属于前述(1)所讨论的情况,因而从9月至12月这一段时间考虑,为满足用水,库容只需 $26.3(\text{m}^3/\text{s})$ 月(等于11月与12月的亏水量),无需为9月份增设库容。再研究该年11月至次年2月的情况,因为次年1月份的余水量既小于该年11、12月的亏水量,又小于次年2月的亏水量,这种情况,为满足该年全年供水不小于 $20\text{ m}^3/\text{s}$,库容必须等于该年11月至次年2月余、亏水量的代数和,即 $V=26.3+10.0=$

表1-4 列表法年调节计算(多回运用)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
月 份	来水 (m^3/s)	用水 (m^3/s)	余水量 [(m^3/s)月]	亏水量 [(m^3/s)月]	(早蓄方案)		(迟蓄方案或晚蓄方案)	
					水库蓄水量 [(m^3/s)月]	弃水量 [(m^3/s)月]	水库蓄水量 [(m^3/s)月]	弃水量 [(m^3/s)月]
3	31.2	20.0	11.2		↓ 0		0	11.2
4	48.0	20.0	28.0		11.2	11.4	0	28.0
5	52.1	20.0	32.1		27.8	32.1	0	32.1
6	65.0	20.0	45.0		27.8	45.0	0	45.0
7	42.0	20.0	22.0		27.8	22.0	0	14.4
8	39.0	20.0	19.0		27.8	19.0	7.6	
9	16.0	20.0		4.0	27.8		26.6	
10	25.2	20.0	5.2		23.8	1.2	22.6	
11	6.3	20.0		13.7	27.8		27.8	
12	7.4	20.0		12.6	14.1		14.1	
1	28.5	20.0	8.5		1.5		1.5	
2	10.0	20.0		10.0	10.0		10.0	
合 计	370.7	240.0	171.0	40.7	0	130.7	↑ 0	130.7